

การเปรียบเทียบการใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์, บัค-บูสต์ คอนเวอร์เตอร์ และ วงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ ใน การหาจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเทอร์โมอิเล็กทริก

Comparison of Boost Converter, Buck-Boost Converter, and Single-Ended Primary-Inductance Converter for Maximum Power Point Tracking of Thermoelectric Generator

ภัทรพล ภูยอดยิ่ง^{1*}, เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์¹, ลิธชัย บุญปิยทัศน์¹, กิตติศักดิ์ ถึงสุข¹, วินัย พรพจน์รัตนกุล¹, ธีระพงษ์ บุญรักษา¹ และ พาศิกา เตมี
ประเสริฐกิจ¹

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ pattarapon.poo@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาและเปรียบเทียบการทำงานของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3 ประเภท ได้แก่ Boost Converter, Buck-Boost Converter และ SEPIC Converter สำหรับการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) จากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ (TEG) โดยได้ทำการทดสอบโมดูล TEG จำนวน 4 ตัวต่ออนุกรมกัน และทดสอบที่ค่าความต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่า ค่าความต้านทานภายในของ TEG มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความต่างอุณหภูมิมีค่ามากขึ้น และค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบเกิดขึ้นเมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานภายในของ TEG ทั้งนี้ การทดสอบเปรียบเทียบระหว่างโหลดเชิงเส้น และโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (วงจรคอนเวอร์เตอร์) พบว่าโหลดเชิงเส้นสามารถให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากกว่าเล็กน้อย แต่ในกรณีโหลดไม่เป็นเชิงเส้น วงจรคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามชนิดสามารถดึงพลังงานใกล้เคียงกัน โดยการต่อ TEG กับ Boost Converter มีแนวโน้มที่จะสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เร็วที่สุดเมื่อปรับ Duty Cycle ประมาณ 55-60% ในขณะที่ Buck-Boost Converter และ SEPIC Converter พบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ duty cycle 70-75%

คำสำคัญ: เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ จุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

Abstract

This research presents a study and comparison of the performance of three types of DC-DC converters, namely Boost Converter, Buck-Boost Converter, and SEPIC Converter, for extracting the maximum power point (MPP) from a thermoelectric generator (TEG) module. The experimental setup employed four TEG modules connected in series and tested under different temperature differences between the hot and cold sides. The results show that the internal resistance of the TEG increases as the temperature difference becomes larger. The maximum power output was achieved when the load resistance closely matched the internal resistance of the TEG. Furthermore, the comparative study between linear loads and nonlinear loads (converter circuits) revealed that the linear load provided a slightly higher maximum power output. However, in the case of nonlinear loads, all three converter circuits exhibited comparable performance. Among them, the Boost Converter tended to achieve the maximum power output more quickly at

a duty cycle of approximately 55-60%, whereas the Buck-Boost Converter and SEPIC Converter reached their maximum power points at duty cycles of 70-75%.

Keywords: Thermoelectric Generator, Maximum Power Point, DC-DC Converter

1. ข้อมูลทั่วไป

ในปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้านับเป็นพลังงานพื้นฐานที่มีความจำเป็นต่อการดำเนินชีวิต อุตสาหกรรม และเทคโนโลยี แต่การผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าจึงได้รับความนิยมมากขึ้น หนึ่งในทางเลือกคือการนำ พลังงานความร้อนเหลือทิ้ง มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ ซึ่งมีข้อดีคือสามารถแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรง โครงสร้างเรียบง่าย ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว และมีความทนทานต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของ TEG ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อโหลดและวิธีการจัดการพลังงาน การหาจุดทำงานที่สามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) จึงเป็นหัวใจสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานจริง ซึ่งในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้า (DC-DC Converter) เพื่อปรับระดับแรงดันและดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุด

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์สามชนิดเพื่อหาประสิทธิภาพในการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจาก TEG เนื่องจากจะช่วยให้สามารถเลือกวงจรที่เหมาะสมกับการใช้งานจริงในสถานะโหลดต่าง ๆ รวมทั้งสามารถนำไปต่อยอดสู่การพัฒนาอุปกรณ์แปลงพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งในภาคอุตสาหกรรมและพลังงานทดแทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์

เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานบนหลักการ Seebeck Effect โดยเมื่อมีความต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นและสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ อุปกรณ์ชนิดนี้มักถูกแทนในรูปแบบสมมูลเทวินิน ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร และความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG จะเกิดขึ้นเมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าเท่ากับค่าความต้านทานภายใน

2.2 การติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ส่งผลให้ตำแหน่งจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิคติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดจึงมีความจำเป็นเพื่อควบคุมให้ทำงานที่จุดซึ่งสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดตลอดเวลา ซึ่งวิธีการติดตามจุดให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การรบกวนและสังเกต (Perturb and Observe) และ Incremental Conductance เป็นต้น โดยวิธีการเหล่านี้จะประยุกต์ใช้งานร่วมกับวงจร DC-DC Converter เพื่อควบคุมการปรับค่า duty cycle ให้สอดคล้องกับตำแหน่งของจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อให้สามารถใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันกระแสตรงจากแหล่งจ่ายโดยมีทั้งแบบเพิ่มระดับแรงดันและลดระดับแรงดันไฟฟ้า การทำงานของวงจรอาศัยหลักการเปิด-ปิดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับ การเก็บและจ่ายพลังงานในตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) ทำให้สามารถควบคุมแรงดันและกระแสเอาต์พุตได้ตามที่กำหนด วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีความสำคัญอย่างยิ่งในระบบที่ใช้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเนื่องจากแรงดันที่ผลิตได้มักมีค่าต่ำและแปรผันตามสภาวะความต่างอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องนำเอาต์พุตที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกมาผ่านวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนนำไปใช้งานในการทดลองนี้ได้ศึกษาการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ 3 วงจรซึ่งสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ประกอบด้วย [1-2]

1. วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ใช้สำหรับเพิ่มแรงดันเอาต์พุตให้สูงกว่าค่าอินพุต โดยอาศัยการเก็บพลังงานในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแสและจ่ายพลังงานดังกล่าวออกไปยังโหลดเมื่อสวิตช์ปิด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$V_o = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (1)$$

เมื่อ V_o คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)

D คือ ค่าดิวตีไซเคิล

2. วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันเอาต์พุตให้สูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าอินพุตได้ โดยอาศัยหลักการทำงานที่ผสมระหว่างโหมดลดแรงดัน (Buck) และเพิ่มแรงดัน (Boost) อย่างไรก็ตามแรงดันเอาต์พุตจะมีข้อจำกัดตรงข้ามกับค่าอินพุต โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2)

$$V_o = \frac{-DV_{in}}{1-D} \quad (2)$$

เมื่อ V_o คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)

D คือ ค่าดิวตีไซเคิล

3. วงจรเซปิกคอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรที่พัฒนาต่อมาจากวงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ โดยสามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ทั้งสูงหรือต่ำกว่าค่า

อินพุตได้ แต่แรงดันที่ได้ยังคงมีข้อจำกัดเดียวกับค่าอินพุต ซึ่งโครงสร้างของวงจรเซปิกจะใช้ตัวเหนี่ยวนำสองตัว (หรือการใช้คอยล์ร่วม) และตัวเก็บประจุต่อเชื่อมระหว่างวงจร แรงดันเอาต์พุตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

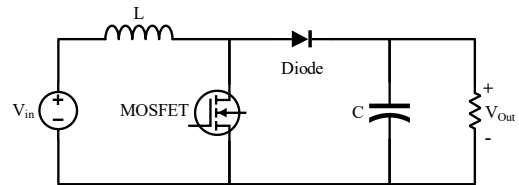
$$V_o = \frac{DV_{in}}{1-D} \quad (3)$$

เมื่อ V_o คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (V)

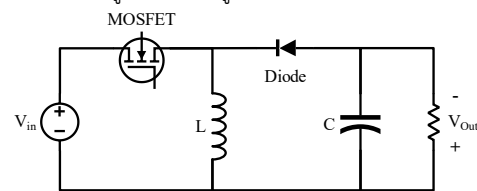
V_{in} คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต (V)

D คือ ค่าดิวตีไซเคิล

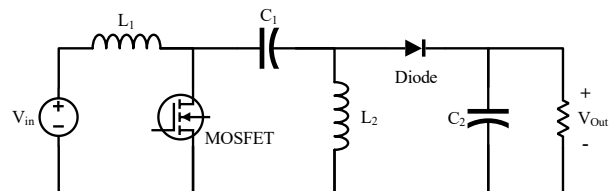
วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 วงจรมีโครงสร้างของวงจรที่แตกต่างกันดังที่แสดงในรูปที่ 1-3 โดยแต่ละวงจรมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน การเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ที่เหมาะสมและการควบคุมด้วยเทคนิค Maximum Power Point Tracking จะช่วยให้สามารถดึงพลังงานสูงสุดออกมาได้ตามความเหมาะสมกับความต้องการใช้งานจริง



รูปที่ 1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

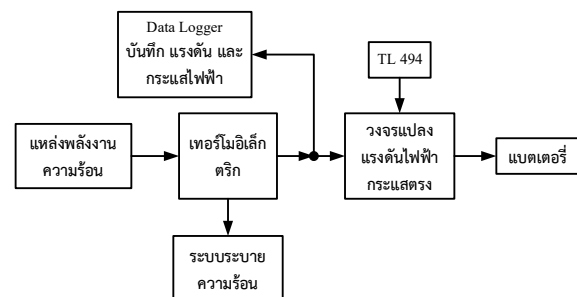


รูปที่ 2 วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์



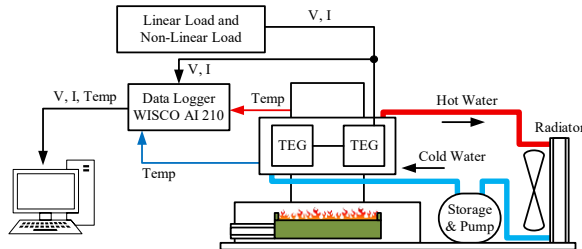
รูปที่ 3 วงจรเซปิกคอนเวอร์เตอร์

3. ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 4 ระบบของการทดสอบ

ระบบของการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกแสดงในรูปที่ 4 โดยในการทดลองได้ใช้โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 4 ตัวต่ออนุกรมกัน ด้านร้อนของโมดูลได้รับความร้อนผ่านแผงฮีตซิงก์ ในขณะที่ด้านเย็นถูกเชื่อมต่อกับระบบระบายความร้อน ซึ่งระบบดังกล่าวใช้สารหล่อเย็นไหลผ่านโมดูลเพื่อดึงความร้อนออก และทำการถ่ายเทความร้อนออกโดยใช้พัดลมดังที่แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบของชุดทดสอบ TEG

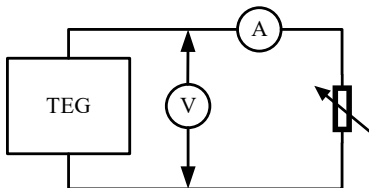
โดยในการทดสอบแบ่งเป็นขั้นตอนประกอบด้วย การทดสอบหาค่าความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก และการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อโหลดที่เป็นเชิงเส้น (ตัวต้านทาน) และโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (วงจรคอนเวอร์เตอร์)

การออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ในงานวิจัยนี้ผู้แต่งได้ใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ 3 วงจรได้แก่ Boost Converter, Buck-Boost Converter และ SEPIC Converter โดยค่าของตัวแปรต่างที่ใช้ในการออกแบบวงจรแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรที่ใช้ทดสอบ

Converter	Switching Frequency	Vo	L	C
SEPIC	25 kHz	15 V	0.4 mH (L ₁ = L ₂)	C ₁ 47 uF C ₂ 470 uF
Boost	25 kHz	15 V	60 uH	-
Buck-Boost	25 kHz	15 V	70 uH	-

3.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานภายในของ TEG



รูปที่ 6 วงจรทดสอบหาค่าความต้านทานภายในของ TEG

ในทำการทดสอบ ได้ทำการต่อเทอร์โมอิเล็กทริกกับโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ดังที่แสดงในรูปที่ 6 จากนั้นวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วของเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อใช้คำนวณหาค่าความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกตามสมการที่ (4) โดยทำการทดสอบได้ดำเนินการตามเงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็น

$$R_{int} = \frac{V_{OC} - V_L}{I_L} \quad (4)$$

เมื่อ R_{int} คือ ค่าความต้านทานภายใน (Ω)

V_{OC} คือ แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V)

V_L คือ แรงดันไฟฟ้าที่โหลด (V)

I_L คือ กระแสที่โหลด (A)

3.2 การทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG ขณะต่อโหลดที่เป็นเชิงเส้น

ในการทดสอบจะทำการต่อโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกเข้ากับโหลดตัวต้านทาน โดยปรับค่าความต้านทานทีละระดับ แล้วบันทึกค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า เพื่อคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใต้เงื่อนไขโหลดเชิงเส้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น การทดสอบทั้งหมดจะทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่ค่าความต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นแตกต่างกัน

3.3 การทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริก ขณะต่อโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น (วงจรคอนเวอร์เตอร์)

ในการทดสอบนี้จะทดสอบกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยเทอร์โมอิเล็กทริกถูกต่อเข้ากับวงจรแปลงแรงดัน โดยเลือกใช้คอนเวอร์เตอร์ 3 ประเภท ได้แก่ Boost Converter, Buck-Boost Converter และ SEPIC Converter มีวิธีทดสอบปรับค่าตัวชี้เซลล์โดยตั้งค่าเริ่มต้นไว้ที่ 10% จากนั้นปรับค่าตัวชี้เซลล์เพิ่มขึ้นทีละ 10% จนถึง 90% โดยในแต่ละขั้นตอนการปรับค่าตัวชี้เซลล์จะทำการบันทึกค่า แรงดัน กระแส อุณหภูมิ ด้านร้อนและด้านเย็น ซึ่งพฤติกรรมการดึงกระแสจาก TEG จะขึ้นอยู่กับค่าตัวชี้เซลล์ ผลการทดลองที่ได้จากการปรับค่าตัวชี้เซลล์ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ของแต่ละวงจรคอนเวอร์เตอร์ และนำมาเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบในกรณีโหลดเชิงเส้น เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างและประสิทธิภาพในการดึงพลังงานจากโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

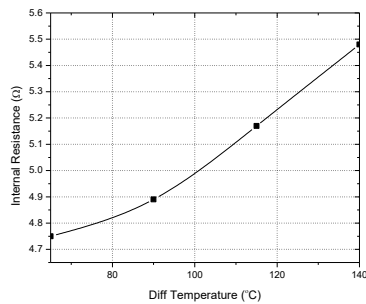
ทั้งนี้ การทดสอบทั้งหมดจะทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของโมดูลเพื่อให้จำลองการทำงานในสภาวะที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยค่าอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นของ TEG ขณะทำการทดสอบ

อุณหภูมิด้านร้อน	อุณหภูมิด้านเย็น	ความต่างอุณหภูมิ
100 °C	35 °C	65 °C
125 °C	35 °C	90 °C
150 °C	35 °C	115 °C
175 °C	35 °C	140 °C

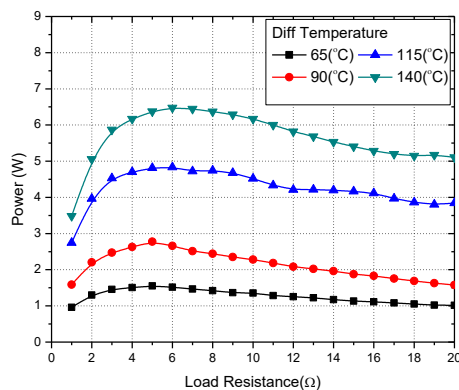
4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานภายในของ TEG



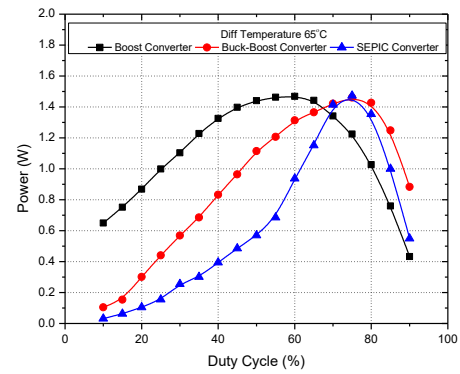
รูปที่ 7 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานภายในของ TEG

จากรูปที่ 7 แสดงผลการสอบการหาค่าความต้านทานภายในของ TEG พบว่าค่าความต้านทานภายในมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผลต่างของอุณหภูมิมีค่าสูงมากขึ้น โดยค่าความต้านทานภายในที่บันทึกมีค่าเท่ากับ 4.75 Ω 4.89 Ω 5.17 Ω และ 5.48 Ω เมื่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าเท่ากับ 65 °C 90 °C 115 °C และ 140 °C ตามลำดับ ซึ่งเกิดจากการกระเจิงของพาหะนำไฟฟ้า ภายในโครงสร้างผลึกที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความนำไฟฟ้าลดลง ดังนั้นค่าความต้านทานภายในของ TEG มีค่าเพิ่มขึ้น [3,4]

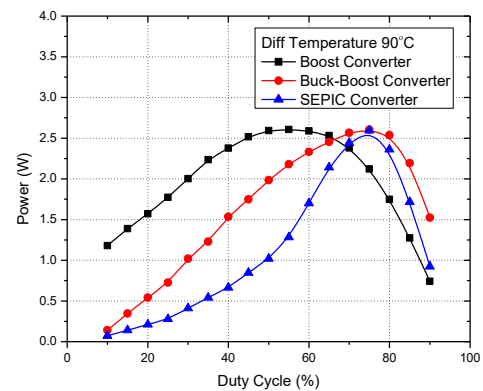


รูปที่ 8 ผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG ขณะต่อโหลดที่เป็นเชิงเส้น

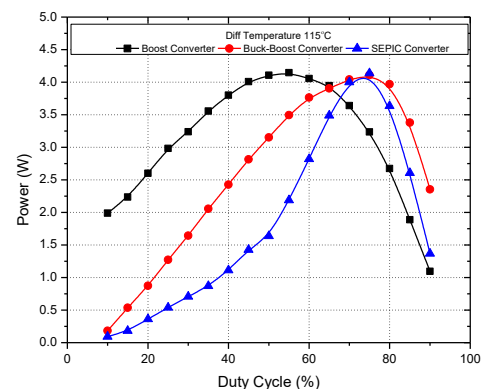
จากรูปที่ 8 แสดงผลของการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยพบว่าเมื่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าเพิ่มขึ้นค่ากำลังไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามด้วย นอกจากนั้นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้จะเกิดขึ้นในกรณีที่ค่าความต้านทานของโหลดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในของเทอร์โมอิเล็กทริก โดยผลการทดสอบนี้มีความสอดคล้องกับค่าความต้านทานภายในที่ได้จากการทดลองในรูปที่ 7 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 1.55 W 2.77 W 4.83 W และ 6.48 W เมื่อผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าเท่ากับ 65 °C 90 °C 115 °C และ 140 °C ตามลำดับ



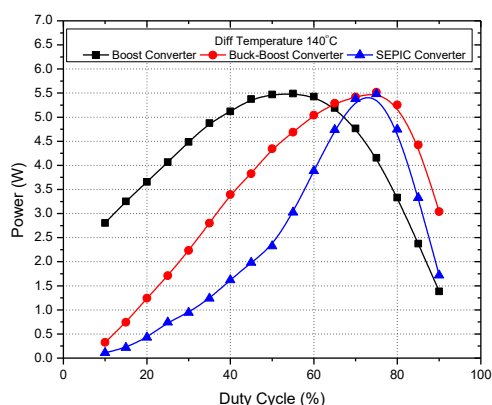
รูปที่ 9 ผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG ขณะต่อโหลดไม่เชิงเส้น ที่ความต่างอุณหภูมิ 65 °C



รูปที่ 10 ผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG ขณะต่อโหลดไม่เชิงเส้น ที่ความต่างอุณหภูมิ 90 °C



รูปที่ 11 ผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG ขณะต่อโหลดไม่เชิงเส้น ที่ความต่างอุณหภูมิ 115 °C



รูปที่ 12 ผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG ขณะต่อโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ที่ความต่างอุณหภูมิ 140 °C

รูปที่ 9-12 แสดงผลการทดสอบหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของ TEG เมื่อต่อกับวงจรคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 3 วงจร พบว่าเมื่อปรับค่าตัวต้านทานเพิ่มมากขึ้น จะสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจาก TEG ได้ โดยผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละวงจร อย่างไรก็ตามการต่อ TEG กับวงจร Boost Converter พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดวัดได้พบเมื่อค่าตัวต้านทานเท่ากับ 55-60% ซึ่งมีแนวโน้มการขึ้นของกำลังไฟฟ้าสูงสุดเร็วที่สุด ในขณะที่วงจร Buck-Boost Converter และ SEPIC Converter พบจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตัวต้านทาน 70-75%

การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างโหลดที่เป็นเชิงเส้นกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น พบว่าที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้จากการต่อโหลดที่เป็นเชิงเส้นได้มากกว่าโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

ตารางที่ 3 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างโหลดเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น

Diff Temp (°C)	Maximum Power (W)	
	Non-Linear Load	Linear Load
65	1.47	1.55
90	2.61	2.77
115	4.15	4.83
140	5.52	6.48

5. สรุป

การวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบการใช่วงจร Boost Converter, Buck-Boost Converter และ SEPIC Converter สำหรับการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์ โดยผลการทดสอบพบว่า ค่าความต้านทานภายในของ TEG จะเพิ่มขึ้นตามค่าความต่างอุณหภูมิ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อค่าความต้านทานของโหลดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในของ TEG ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างโหลดเชิงเส้นกับโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้นแสดงให้เห็นว่า โหลดเชิงเส้นให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดมากกว่า ขณะที่วงจรคอนเวอร์เตอร์ทั้งสามชนิดสามารถดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ใกล้เคียงกัน แต่วงจร Boost Converter มีแนวโน้ม

การตอบสนองเร็วที่สุด ส่วน Buck-Boost และ SEPIC Converter พบจุดกำลังสูงสุดที่ตัวต้านทานใกล้เคียงกัน ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ร่วมกับ TEG เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดึงพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งได้อย่างเหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ จนสามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] D.W.Hart, Power Electronics. New York, McGraw-Hill, 2011.
- [2] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2003.
- [3] D. Champier, "Thermoelectric generators: A review of applications" Energy Conversion and Management, vol.140, pp.167–181, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.070>
- [4] X. Niu, J. Yu, and S. Wang, "Experimental study on low-temperature waste heat thermoelectric generator" Journal of Power Sources, vol.188(2), pp. 621–626, 2009.